



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 196 23 671 A 1

51 Int. Cl.⁸:
B 22 D 46/00
B 23 Q 41/08

21 Aktenzeichen: 196 23 671.1
22 Anmeldetag: 13. 6. 96
43 Offenlegungstag: 7. 8. 97

DE 196 23 671 A 1

66 Innere Priorität:

196 03 816.2 02.02.96

71 Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:

Bürvenich, Hans-Peter, Dipl.-Ing., 91056 Erlangen, DE; Dachtler, Gerhard, Dipl.-Ing., 91083 Baiersdorf, DE; Hergert-Mückusch, Ferdinand, Dr., 81827 München, DE; Schief, Andreas, Dr., 80639 München, DE; Schömig, Ewald, Dr., 80796 München, DE

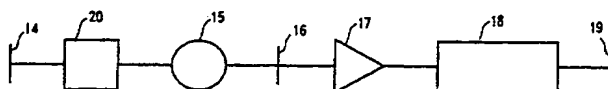
56 Entgegenhaltungen:

E.Schömig. Regelungskonzepte zur Optimierung des Mini-Mill Prozesses im Rahmen des Projektes Stocmic. Technical report, Siemens ZFE T SE 1, Sept. 1995;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und System zur zeitlichen Regelung einer Anlage der Grundstoffindustrie

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Einrichtung zur umfassenden Steuerung einer Anlage der Grundstoffindustrie, z. B. einem Stahlwerk oder einem integrierten Hüttenwerk, die in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritische Teilprozesse, z. B. Gießprozesse, aufweist. Die Erfindung optimiert zum einen den Materialfluß durch die Anlage und verhindert das Abreißen des Materialflusses vor in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teilprozessen. Dabei wird für die Regelung der Anlage der zeitliche Ablauf in einem Teilprozeß in vier Schritte, sogenannte Viertelzellen, unterteilt, wobei jede Viertelzelle einen Zeitpunkt, ein Zeitintervall zur Beschreibung möglicher Prozeßzeitschwankungen den Namen der Vorgänger-Viertelzelle, d. h. den Namen des vorab ablaufenden Teilschritt eines Teilprozesses sowie ein Vermerk, ob die Prozeßzeitschwankung dieser Teilzelle beeinflussbar oder nicht beeinflussbar sind, enthält.



DE 196 23 671 A 1

Best Available Copy

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und System zur zeitlichen Regelung einer Anlage der Grundstoffindustrie.

Bei Anlagen der Grundstoffindustrie wie z. B. Stahlwerken gibt es häufig im bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritische Prozesse. Reißt der Materialfluß vor diesen kritischen Prozessen ab, so ist dies mit zusätzlichen Kosten oder Qualitätseinbußen in bezug auf das zu verarbeitete Material verbunden. Ein typisches Beispiel für ein derartigen kritischen Teilprozeß ist das Gießen von flüssigem Metall insbesondere von Stahl in einem Stahlwerk. In einem Stahlwerk ist es wünschenswert, daß die Materialzufuhr beim Gießprozeß nicht abreißt.

Aufgabe ist es daher ein Verfahren beziehungsweise ein System zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, das es erlaubt, einen kontinuierlichen Materialfluß in einer Anlage der Grundstoffindustrie für in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritische Teilprozesse aufrechtzuerhalten.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren bzw. eine Einrichtung zum Führen eines Prozesses in einer Anlage der Grundstoffindustrie, z. B. einem Stahlwerk oder einem integrierten Hüttenwerk, mit in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teilprozessen, z. B. Gießprozessen, insbesondere von Gießprozessen für Stahl, gelöst, wobei der Materialfluß durch die Anlage derart gesteuert bzw. geregelt wird, daß ein Stocken oder Abreißen des Materialflusses vor Eintritt in einen in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teilprozeß verhindert wird. Auf diese Weise ist es möglich, die Qualität des bearbeiteten Materials zu verbessern bzw. Einbußen in bezug auf die Produktionsmenge zu verhindern.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird dabei der Materialfluß in Abhängigkeit der Bearbeitungszeiten in den Teilprozessen, der Pufferzeiten zwischen Teilprozessen und der Transportzeiten geregelt. Dabei werden die Bearbeitungszeiten in nominale Bearbeitungszeiten, einstellbare Bearbeitungszeitvariationen und nicht beeinflussbare Zeitabweichungen untergliedert betrachtet. Die nominale Bearbeitungszeit ist dabei die Zeit, die für die Bearbeitung eines Teilprozesses vorgesehen ist. Dies kann z. B. die nominale Zeit zum Schmelzen von Stahl sein. Mit der nicht beeinflussbaren Bearbeitungszeitabweichung werden die Störgrößen modelliert, die zu zufälligen Abweichungen bzw. nicht beeinflussbaren systematischen Abweichungen von der nominalen Bearbeitungszeit führen. Die einstellbare Bearbeitungszeitvariation gibt eine Zeitdauer an, um die die Bearbeitungszeit verlängert oder verkürzt werden kann, je nachdem, ob das Gesamtsystem eine schnelle oder eine langsame Bearbeitung des entsprechenden Teilprozesses erfordert. Auf diese Weise ist es möglich, Zeiten bzw. Zeitdauern in einem Prozeß in ähnlicher Weise wie Prozeßzustandsgrößen, wie etwa Temperatur, mit Regel- und Störgrößen zu modellieren. Diese Modellbildung erlaubt es, Ansätze zur Reglerauslegung, wie sie für Prozeßzustandsgrößen bekannt sind, auf Zeitabläufe zu übertragen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden Einrichtungs-, Einstell-, Reparatur- oder notwendige Wartezeiten in Bearbeitungspausen als Bearbeitungszeiten interpretiert und entsprechend modelliert. Durch diese Modellbildung wird die Modellstruktur deutlich vereinfacht.

Weitere Vorteile und erfinderische Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, anhand der Zeichnungen und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Im einzelnen zeigen:

5 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines integrierten Hüttenwerkes ohne Rückführung,

Fig. 2 ein generisches Prozeßmodell für einen Teilprozeß,

10 Fig. 3 den schematischen Ablauf eines Regelalgorithmus.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Anlage der Grundstoffindustrie zur Erzeugung gewalzten Metalls z. B. Stahls. Die Anlage weist zwei Elektroöfen 1 und 2, mit denen zugeführter Schrott eingeschmolzen wird, zwei Pfannenöfen 4 und 5 zur weiteren chemischen Behandlung des Metalls, zwei Vakuumstationen 7 und 8, zwei Stranggießanlagen 10 und 11, einen Ausgleichsofen 12 und eine Walzstraße 13 auf.

Die Hauptaufgabe einer Regelung besteht darin, das zeitliche Fortschreiten von Schmelzen in diesem Prozeß so zu steuern, daß innerhalb einer Schmelzsequenz ein kontinuierlicher Gießprozeß in den Stranggießanlagen 10 und 11 gewährleistet werden kann. In der gewählten beispielhaften Ausführung der Anlage bilden die beiden Behandlungslinien bestehend aus je einem Elektroofen 1 oder 2, einem Pfannenofen 4 oder 5, einer (optionalen) Vakuumstation 7 oder 8 und einer Gießanlage 10 oder 11 keine separaten Verarbeitungseinheiten. Wie durch die Kreuzungselemente 3, 6 und 9 angedeutet, kann das Material von einer Behandlungslinie auf die andere Behandlungslinie bewegt werden.

Fig. 2 zeigt ein generisches Prozeßmodell für einen Teilprozeß einer Anlage. Dabei bezeichnet Bezugszeichen 16 den Bearbeitungsbeginn B_j^i des j-ten Teilprozesses im i-ten Prozeßdurchlauf, Bezugszeichen 19 das Bearbeitungsende E_j^i eines j-ten Teilprozesses im i-ten Prozeßdurchlauf, Bezugszeichen 14 das Bearbeitungsende E_{j-1}^i eines j-1-ten Teilprozesses im i-ten Prozeßdurchlauf, Bezugszeichen 15 eine ggf. regelbare, Wartezeit u_j^i für den j-ten Teilprozeß beim i-ten Prozeßdurchlauf, Bezugszeichen 17 eine regelbare Prozeßzeit p_j^i des j-ten Teilprozesses im i-ten Prozeßdurchlauf, Bezugszeichen 20 Transportzeiten für das Bewegen des Materials von einem unmittelbar vorgelagerten Aggregat zum Aggregat zur Durchführung des i-ten Teilprozesses und Bezugszeichen 18 den eigentlichen Bearbeitungsprozeß des Materials. Die Bearbeitungszeit des Materials wird dabei in zwei Teilzeiten einer nominalen Bearbeitungszeit r_j^i und einer Abweichung von der realen Bearbeitungszeit d_j^i unterteilt betrachtet.

Fig. 3 zeigt den schematischen Ablauf eines Regelalgorithmus zum Regeln eines Prozesses aufbauend auf der Prozeßmodellbildung aus Fig. 2. Beispielhaft wird dabei ein Stahlwerk betrachtet, durch das eine Schmelze läuft.

Dem Regler werden

- die neuesten relevanten Werte des Prozeßverlaufs,
- der Produktionsplan,
- die Intervalle, in denen sich eingehende zufällige Größen bewegen,
- die Intervalle, in denen eingehende zu kontrollierende Größen gewählt werden können und
- eine Zielfunktion

zur Verfügung gestellt.

Er liefert eine Regelung, die

- alle Randbedingungen des Produktionsplans garantiert einhält,
- innerhalb der durch die erste Forderung möglichen Regelungen diejenige auswählt, welche die Zielfunktion optimiert.

Unter einem Produktionsplan sind dabei die Reihenfolge sowie grobe Zeitvorgaben für übergeordnete Arbeitsabläufe zu verstehen. Die Zielfunktion des Reglers enthält Optimierungskriterien wie z. B. das Minimieren des Energieverbrauchs oder das Maximieren des Durchsatzes. Ist es dem Regler nicht möglich innerhalb der Intervalle, in denen sich eingehende zu kontrollierende Größen befinden dürfen, Kontrollgrößen zu finden so gibt er Diagnosedaten aus, aus denen zu erkennen ist, warum die geforderte Regelung nicht möglich ist. Im ersten Schritt 21 des Regelverfahrens werden für jede Schmelze (Schmelzenidentität b) innerhalb des projektierbaren Vorausschaubereichs und für jedes Aggregat (Aggregatidentität a), das von ihr durchlaufen wird, je eine Zelle $Z(a, b)$ definiert. Diese Zelle hat den Zustand

- NEU, wenn die Schmelze b noch nicht am Aggregat a angekommen ist,
- ANGEKOMMEN, wenn die Schmelze angekommen ist, der Beginn des Prozesses aber noch nicht feststeht,
- ENTSCHIEDEN, wenn die Schmelze angekommen ist, der Prozeßbeginn feststeht, aber noch nicht eingetreten ist,
- GESTARTET, wenn der Prozeß begonnen hat, aber noch nicht beendet ist,
- BEENDET, wenn der Prozeß beendet ist.

Die Zelle $Z(a, b)$ besteht aus den Viertelzellen $A(a, b)$, $B(a, b)$, $C(a, b)$ und $E(a, b)$. Diese enthalten jeweils

- einen Zeitpunkt t_z (entweder eine Zahl oder eine Variable),
- ein Intervall $[u_z, o_z]$,
- den Namen Z_v der Vorgänger-Viertelzelle,
- einen Vermerk KONTROLLIERT oder ZUFÄLLIG.

Die Propagation der Gesamtanlage ergibt sich dann aus der Propagationsgleichung

$$t_z = t_{zv} + \pi,$$

wobei $\pi \in [u_z, o_z]$ im Fall ZUFÄLLIG beliebig ist, und im Fall KONTROLLIERT vom Regler gewählt wird. Konkret enthält $A(a, b)$

- den Zeitpunkt des Ankommens von Schmelze b am Aggregat a ,
- das Intervall der möglichen Transportzeiten vom Vorgängeraggregat zu diesem Aggregat,
- die E-Zelle des Vorgängeraggregats für diese Schmelze,
- ZUFÄLLIG.

$B(a, b)$ enthält

- den Zeitpunkt des Prozeßbeginns von Schmelze b am Aggregat a ,

- das Intervall der möglichen Wartezeiten zwischen Ankunft und Prozeßbeginn,
- die A-Zelle diese Schmelze an diesem Aggregat,
- KONTROLLIERT.

$C(a, b)$ enthält

- den Zeitpunkt des geplanten Prozeßendes von Schmelze b am Aggregat a ,
- das Intervall der möglichen Prozeßzeiten,
- die B-Zelle diese Schmelze an diesem Aggregat,
- KONTROLLIERT.

$E(a, b)$ enthält

- das tatsächliche Prozeßende,
- das Intervall der möglichen Prozeßzeitschwankungen,
- die C-Zelle diese Schmelze an diesem Aggregat,
- ZUFÄLLIG.

In einem zweiten Schritt 22 wird das Grund-Constraint-System, das die Randbedingungen des Systems enthält, bestimmt. Für jedes Aggregat a und für jeden Schmelzenwechsel von b_1 nach b_2 wird die E-Zeit E der Zelle $Z(a, b_1)$ und die B-Zeit B der Zelle $Z(a, b_2)$ betrachtet. In jedem Fall muß dann gelten

$$E \leq B$$

(evtl. auch $E + \Delta t \leq B$, falls eine Mindestschmelzzeit gegeben ist).

Hinter dieser Randbedingung verbirgt sich z. B. der Umstand, daß eine Schmelze ein Aggregat verlassen haben muß, bevor eine weitere Schmelze in das Aggregat gegeben wird.

Ist darüberhinaus das Aggregat eine Gießanlage, so liefert die Just-in-time-Bedingung zusätzlich

$$E \geq B$$

(oder auch $E + \Delta t \geq B$, falls eine Höchstschmelzenwechselzeit Δt gegeben ist). Die Kollektion all dieser Ungleichungen ist das Grund-Constraint-System. Darüber hinaus können vom Benutzer weitere Constraint-Ungleichungen definiert werden (etwa aggregatsübergreifende Bedingungen an Abkühlzeiten)

Im dritten Schritt 23 der Regelung wird die Menge der Viertelzellen innerhalb des Vorausschaubereichs mit einer Informationsordnung versehen. Für jedes Paar von Viertelzellen Z_1 und Z_2 wird entschieden, ob bei allen möglichen Verläufen der Zeitpunkt t_{z1} feststeht, ehe über die mögliche Regelung in Z_2 entschieden werden muß. Die Viertelzellen werden dann so linear angeordnet (von 1 bis N durchnummeriert), daß, falls obiges der Fall ist, Z_1 vor Z_2 kommt. Darüber hinaus wird dafür gesorgt, daß diejenigen Viertelzellen die mit dem Vermerk KONTROLLIERT versehen sind und in deren Regelung keine ZUFÄLLIGE Viertelzelle eingeht, die niedrigsten Ordnungsnummern bekommen. Dies sind diejenigen Viertelzellen, für die im folgenden der Kontrollwert bestimmt wird (Nummern 1 bis M). D.h., daß die kontrollierbaren Zellen die nichtkontrollierbaren Zellen vorangestellt werden. Die Viertelzellen einer Zelle behalten in jedem Fall die Reihenfolge A, B, C, E bei, jedoch müssen die Viertelzellen aller Zellen nicht unmittelbar aufeinander erfolgen.

In einem vierten Schritt 24 wird das so ermittelte

Constraint-System ausgewertet. Sind die Viertelzellen entsprechend obigem von 1 bis N durchnummeriert so ist das Grund-Constraint-System UN ein Ungleichungssystem in den Zeiten t_{z1} bis t_{zN} . Das System U_{k-1} entsteht aus U_k durch die beiden folgenden Schritte, die N-M mal auszuführen sind, bis das Constraint-System U_M ermittelt ist.

Entsprechend der obigen Propagationsgleichung wird die Zeit t_{zk} mit der höchsten Ordnungsnummer ausgedrückt durch Variablen mit kleinerer Ordnungsnummer. Dies geschieht in verschiedener Weise je nach Vermerk ZUFÄLLIG oder KONTROLLIERT und ist in mathematischen Theoremen begründet. Der Umfang des Constraint-Systems wird hierbei deutlich vergrößert. Darüber hinaus entstehen neue Variable $t_{z1}(Z_k)$, bzw. $Z_1(Z_k)$; die den größtmöglichen, bzw. kleinstmöglichen Wert einer Variable t_{z1} ausdrücken, falls alle Informationen ausgewertet werden, die der Viertelzelle Z_k vorliegen.

Mit Hilfe einiger mathematischer Theoreme wird das Constraint-System nun äquivalent, oder mindestens hinreichend, umgeformt und verkleinert (insbesondere Redundanzen beiseitigt), um eine Explosion des Systemumfanges zu vermeiden. Werden bei der Umformung Widersprüche im Constraint-System festgestellt, terminiert der Algorithmus mit der Ausgabe des Widerspruchs und der Diagnose, welche der eingehenden Parameter für die Nicht-Regelbarkeit verantwortlich sind.

Das Constraint-System U_M wird nun in den Variablen t_{z1} bis t_{zM} gelöst, um die Menge der erlaubten Regelungen zu bestimmen. Innerhalb dieser Menge wird dann die Regelung ausgewählt, die die zugrunde liegende Zielfunktion optimiert. Diese Regelung wird an das Stahlwerk übergeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Führen eines Prozesses in einer Anlage der Grundstoffindustrie, z. B. einem Stahlwerk oder einem integrierten Hüttenwerk, mit in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teilprozessen, z. B. Gießprozessen, insbesondere von Gießprozessen für Stahl, wobei der Materialfluß durch die Anlage derart gesteuert bzw. geregelt wird, daß ein Stocken oder Abreißen des Materialflusses vor Eintritt in einen in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teilprozeß verhindert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflußnahme auf den Prozeß in Abhängigkeit von zumindest einer der Größen

- Bearbeitungszeiten des Materials in den Aggregaten, in denen die Teilprozesse ablaufen,
- Pufferzeiten, d. h. den Zeiten, in denen sich Material vor der Bearbeitung in einem Teilprozeß in einem dem Teilprozeß zugeordneten Puffer befindet, und
- Transportzeiten des Materials zwischen den Aggregaten

erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beeinflussung des Prozesses bzw. der Teilprozesse in Abhängigkeit

- der Bearbeitungszeiten in den Teilprozessen,
- der Pufferzeiten der Teilprozesse und
- der Transportzeiten

erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungszeit eines Teilprozesses in eine nominale Bearbeitungszeit (r_j), eine einstellbare Bearbeitungszeitvariation (p_j) sowie eine nicht beeinflussbare Bearbeitungszeitabweichung (d_j) untergliedert verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflußnahme auf einen Teilprozeß über die einstellbare Bearbeitungszeitvariation (p_j) und/oder die Pufferzeit (u_j) folgt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflußnahme auf den Prozeß mittels eines Reglers in Abhängigkeit von Meßwerten über das Prozeßgeschehen, vom Produktionsplan der Anlage, einer Zielfunktion, d. h. einem Optimierungskriterium, sowie von garantierten Grenzen für Bearbeitungszeiten, Pufferzeiten und Transportzeiten erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Regelung der Anlage der zeitliche Ablauf in einem Teilprozeß in vier Schritten, sogenannten Viertelzellen, unterteilt erfolgt, wobei jede Viertelzelle einen Zeitpunkt, ein Zeitintervall zur Beschreibung möglicher Prozeßzeitschwankungen, den Namen der Vorgängerviertelzelle, d. h. den Namen des vorab ablaufenden Teilschrittes eines Teilprozesses, sowie einen Vermerk, ob die Prozeßzeitschwankungen dieser Teilzelle beeinflussbar oder nicht beeinflussbar sind, erhält.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein sogenanntes Grundconstraint-System, das die Randbedingungen des Systems enthält, bestimmt wird, wobei das Bearbeitungsende eines vorhergehenden Prozesses nicht nach dem Bearbeitungsbeginn eines nachfolgenden Prozesses liegen darf und wobei bei Einhalten der just-in-time-Bedingung zusätzlich der Bearbeitungsbeginn eines nachfolgenden Prozesses nicht hinter dem Bearbeitungsende eines vorangehenden Prozesses liegen darf.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Viertelzellen unter Berücksichtigung von Randbedingungen über die Reihenfolge bestimmter Teilprozesse oder über zeitliche Bedingungen wie minimale oder maximale Prozeßdauer oder minimale oder maximale Wartezeit beim Übergang von einem Aggregat zum anderen gemäß der Randbedingungen, wie deren des Grundconstraint-Systems geordnet werden, wobei beeinflussbare Viertelzellen vor nicht beeinflussbaren Viertelzellen angeordnet werden und die Reihenfolge (A, B, C, E) der Viertelzellen eingehalten wird, ohne daß diese jedoch direkt aufeinander folgen müssen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die im Grundconstraint-System formulierten Ungleichungen ein Ungleichungssystem bilden, das rückwärts sukzessive gelöst wird, so daß zulässige Zeitintervalle für die beeinflussbaren Zeiten wie etwa die beeinflussbare Bearbeitungszeitabweichung (d_j) oder die Pufferzeit (u_j) berechnet werden und daß innerhalb dieser Intervalle Werte gewählt werden, die den Gesamtprozeßablauf z. B. im Hinblick auf Minimierung des Energieverbrauches oder Maximierung des Materialdurchsatzes optimieren.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der An-

sprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Um-
rüst- und Reparaturzeiten für Aggregate durch das
gleiche Prozeßmodell wie für die Bearbeitung von
Material modelliert werden.

12. Einrichtung zum Führen eines Prozesses in ei- 5
ner Anlage der Grundstoffindustrie, z. B. einem
Stahlwerk oder einem integrierten Hüttenwerk,
mit in bezug auf kontinuierlichen Materialfluß kriti-
schen Teilprozessen, z. B. Gießprozessen, insbeson-
dere zur Durchführung des Verfahrens nach einem 10
oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, wobei der
Materialfluß durch die Anlage derart gesteuert
bzw. geregelt wird, daß ein Stocken oder Abreißen
des Materialflusses vor Eintritt in einen in bezug
auf kontinuierlichen Materialfluß kritischen Teil- 15
prozeß verhindert wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

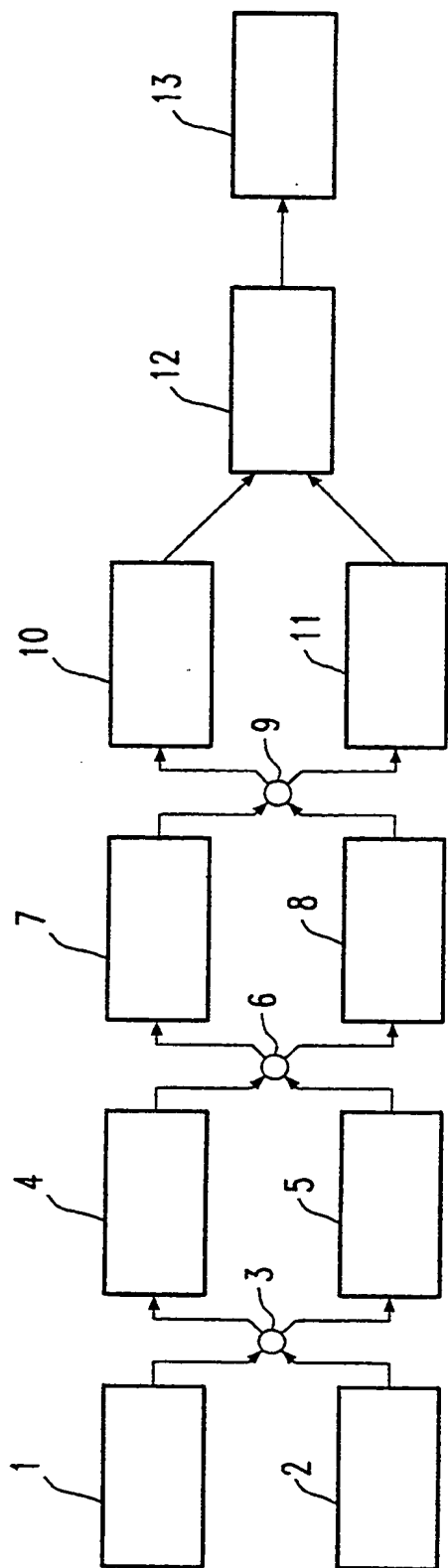


FIG 1

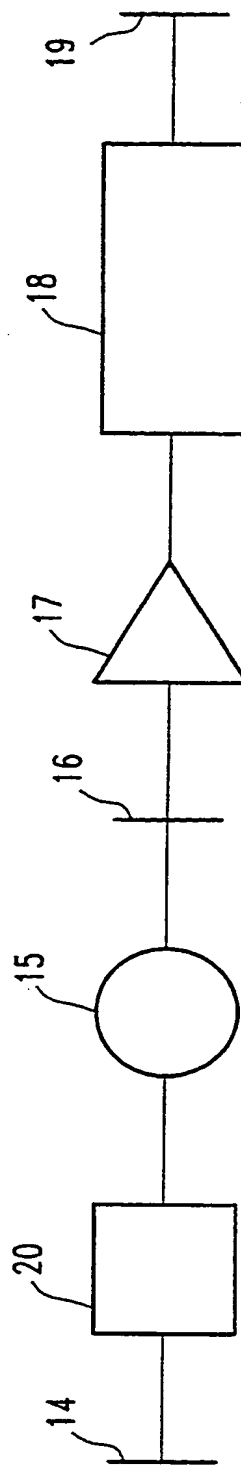


FIG 2

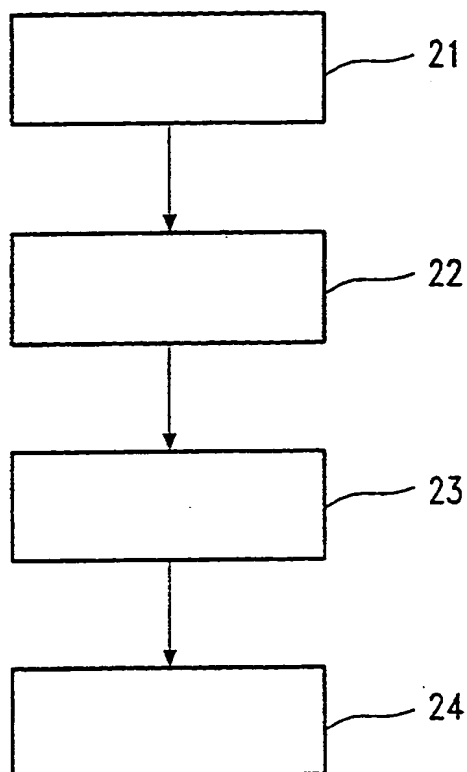


FIG 3